



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Off nl ungsschrift  
⑩ DE 199 39 583 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
G 01 L 1/24  
G 02 B 6/124

②1 Aktenzeichen: 199 39 583.7  
②2 Anmeldetag: 20. 8. 1999  
④3 Offenlegungstag: 14. 9. 2000

131

DE 199 39 583 A 1

⑥5 Innere Priorität:  
199 07 932. 3 24. 02. 1999

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

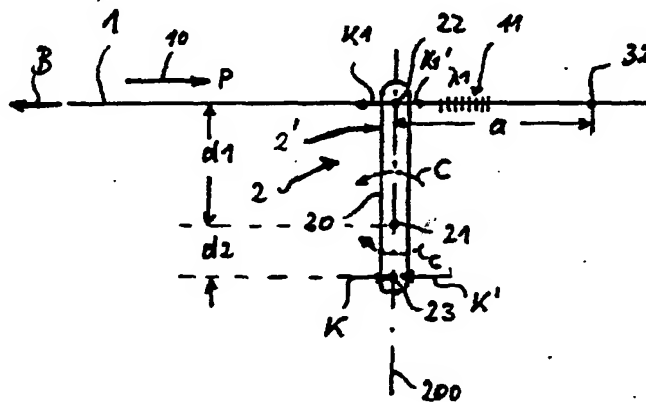
⑦2 Erfinder:  
Willsch, Michael, Dipl.-Phys., 90762 Fürth, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Bragg-Gitter-Vorrichtung zum Messen einer mechanischen Kraft sowie Anwendung und Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung

⑤7 Bragg-Gitter-Vorrichtung zum Messen einer mechanischen Kraft (K, K'), mit einer optischen Faser (1) und einem in der Faser ausgebildeten optischen Bragg-Gitter (11) sowie einer die zu messende Kraft in eine die Feder dehnende und/oder kontrahierende Kraft (K1, K1') umsetzenden Kraftübertragungseinrichtung (2), die ein Getriebe (2') mit einer Drehachse (21) aufweist. Die Einrichtung (2) ermöglicht eine höhere Meßempfindlichkeit und Sensoren zum Messen anderer physikalischer Größen wie elektrische Spannung, Temperatur, Beschleunigung, Vibration usw. mit höherer Meßempfindlichkeit.



DE 199 39 583 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Bragg-Gitter-Vorrichtung zum Messen einer mechanischen Kraft, die nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 aufweist:

- wenigstens einen optischen Leiter aus elastischem Material zum Leiten einer optischen Strahlung in einer Ausbreitungsrichtung,
- wenigstens ein im Leiter ausgebildetes optisches Bragg-Gitter mit einer Bragg-Wellenlänge, die in Abhängigkeit von einer Dehnung und/oder Kontraktion des Leiters in der Ausbreitungsrichtung variiert, und
- eine Kraftübertragungseinrichtung, welche die zu messende Kraft in eine den Leiter in der Ausbreitungsrichtung dehnende und/oder kontrahierende Kraft umsetzt.

Die Erfindung betrifft auch eine Anwendung und ein Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung.

Eine Vorrichtung der genannten Art ist aus dem US-Patent 5 680 489 bekannt. Bei dieser bekannten Vorrichtung besteht der optische Leiter aus elastischem Material aus einer Faser und die Kraftübertragungseinrichtung weist ein elastisches Medium, in welches das Bragg-Gitter eingebettet ist, und eine Masse auf, die mit einer zu einer Längsachse der Faser parallelen, von der Faser abgekehrten und in einem radialen Abstand von der Faser angeordneten Seitenfläche des elastischen Mediums verbunden ist und bei einer Beschleunigung der Vorrichtung eine auf das elastische Medium wirkende und zu messende Kraft erzeugt, die durch dieses elastische Medium in eine die Faser in der Ausbreitungsrichtung dehnende und/oder kontrahierende Kraft umsetzt.

Eine ähnliche Vorrichtung ist aus WO 98/31987 bekannt, die sich von der Vorrichtung nach dem US-Patent 5 680 489 lediglich dadurch unterscheidet, daß die Masse nicht an einer Seitenfläche, sondern an einer quer zur Längsachse der Faser angeordneten Stirnfläche des elastischen Mediums befestigt ist, die sonst aber wie die Vorrichtung nach dem US-Patent 5 680 489 arbeitet.

Aus der DE 196 48 403 ist eine Bragg-Gitter-Vorrichtung zum Messen einer mechanischen Kraft bekannt, die aufweist:

- wenigstens eine optische Faser zum Leiten einer optischen Strahlung in einer Ausbreitungsrichtung,
- ein in der Faser integriertes optisches Bragg-Gitter mit einer gitterspezifischen Bragg-Wellenlänge, die in Abhängigkeit von einer Dehnung und/oder Kontraktion der Faser in der Ausbreitungsrichtung variiert, und
- einen Dehnkörper, der an der Faser bei zwei in der Ausbreitungsrichtung in einem das Gitter enthaltenden Abstand voneinander angeordneten Befestigungspunkten befestigt ist und sich in der Ausbreitungsrichtung dehnen kann.

Diese Vorrichtung dient zur Erfassung von in der mit einer Längsrichtung der Faser übereinstimmenden Ausbreitungsrichtung gerichteten Druck- und/oder Zugkräften, wobei der Dehnkörper nicht als "Verstärker" für den zu messenden Druck oder Zug wirkt.

Die das Bragg-Gitter enthaltende Faser kann beispielsweise durch eine elastische Feder in der Ausbreitungsrichtung auf Zug vorgespannt sein.

Eine Ausführungsform dieser Vorrichtung ist eine temperaturkompensierte Variante, die eine zusätzliche unbelastete Referenzfaser mit einem integrierten Referenz-Bragg-Gitter

aufweist, durch welches Temperatureinflüsse, die eine Verschiebung der Bragg-Wellenlänge hervorrufen, erfaßt und durch eine geeignete Auswertung eliminiert werden können.

Dem US-Patent Nr. 5 682 445 ist eine Bragg-Gitter-Vorrichtung zu entnehmen, die aufweist:

- wenigstens eine optische Faser zum Leiten einer optischen Strahlung in einer Ausbreitungsrichtung,
- ein in der Faser ausgebildetes optisches Bragg-Gitter mit einer gitterspezifischen Bragg-Wellenlänge, die in Abhängigkeit von einer Dehnung und/oder Kontraktion der Faser in der Ausbreitungsrichtung variiert, und
- eine drehachsenfreie Hebelübersetzung, welche an der Faser bei zwei in der Ausbreitungsrichtung in einem das Gitter enthaltenden Abstand voneinander angeordneten Befestigungspunkten befestigt ist.

Die drehachsenfreie Hebelübersetzung, dient dazu, der Faser und dem Gitter zwischen den Befestigungspunkten eine Spannung in der Ausbreitungsrichtung zu erteilen.

Dazu weist die drehachsenfreie Hebelübersetzung wenigstens zwei in der Ausbreitungsrichtung langgestreckte Teile mit jeweils einem stirnseitigen Ende auf, wobei diese Enden fest miteinander verbunden sind. Jedes dieser beiden Teile weist je ein dem einen Ende dieses Teils gegenüberliegendes anderes stirnseitiges Ende auf. Das andere Ende eines Teils ist bei einem der beiden Befestigungspunkte fest mit der Faser und das andere Ende des anderen Teils beim anderen Befestigungspunkt fest mit der Faser verbunden.

Eine in der Ausbreitungsrichtung wirkende Spannung in der Faser kann durch eine Änderung der zwischen den stirnseitigen Enden in der Ausbreitungsrichtung gemessenen Längen der beiden Teile relativ zueinander erzeugt werden.

Eine Vorrichtung zum Messen einer mechanischen Kraft kann auch so ausgebildet sein, daß eine Masse bei einer Beschleunigung der Vorrichtung eine Kraft erzeugt, die eine Faser oder einen Spiegel auslenkt, und daß eine von der Auslenkung der Faser oder des Spiegels abhängige Lichtintensität gemessen wird.

Auch kann eine Vorrichtung zum Messen einer mechanischen Kraft so ausgebildet sein, daß eine Masse bei einer Beschleunigung der Vorrichtung eine Kraft erzeugt, die eine Zunge auslenkt, und daß die Auslenkung der Zunge mittels elektrischer Methoden, beispielsweise kapazitiv detektiert wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Bragg-Gitter-Vorrichtung der eingangs genannten Art zum Messen einer mechanischen Kraft bereitzustellen, die im Vergleich zu den bekannten derartigen Bragg-Gitter-Vorrichtungen eine breitere Anwendung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Gemäß dieser Lösung weist bei der erfindungsgemäßen Bragg-Gitter-Vorrichtung die Kraftübertragungseinrichtung ein Getriebe mit einer relativ zum Leiter im wesentlichen festen Drehachse aufweist.

Eine breitere Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann insbesondere dadurch erhalten werden, daß die Kraftübertragungseinrichtung ein von eins verschiedenes Umsetzungsverhältnis zwischen der zu messenden Kraft und der umgesetzten Kraft aufweist.

Als Getriebe ist prinzipiell jede Art von Getriebe mit Drehachse, beispielsweise ein Hebelgetriebe oder Zahnradgetriebe, geeignet. Eine bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist so ausgebildet, daß das Getriebe wenigstens einen Hebel aufweist, der um die relativ zum Leiter im wesentlichen feste Drehachse drehbar ist, der am Leiter befestigt ist, und auf den die zu messende Kraft in einem Abstand von der Drehachse ein-

wirkt. Diese Ausgestaltung läßt sich baulich besonders einfach realisieren.

Die zu messende Kraft kann dabei am Leiter, d. h. im Abstand null vom Leiter oder in einem von null verschiedenen Abstand vom Leiter auf den Hebel einwirken.

Das Umsetzungsverhältnis des Getriebes ist in diesem Fall durch das Verhältnis zwischen dem Abstand des Angriffspunkts der zu messenden Kraft am Hebel von der Drehachse des Hebels und dem Abstand des Befestigungspunkts des Hebels am Leiter von der Drehachse gegeben. Dieses Verhältnis kann kleiner, größer oder gleich eins gewählt sein.

Insbesondere ist eine Vergrößerung einer von der zu messenden Kraft bewirkten Auslenkung gegeben, wenn der Abstand zwischen dem Befestigungspunkt des Hebels am Leiter und der Drehachse größer als der Abstand zwischen dem Angriffspunkt der zu messenden Kraft am Hebel und der Drehachse gewählt ist, und eine Kraftverstärkung, wenn der Abstand zwischen dem Befestigungspunkt des Hebels am Leiter und der Drehachse kleiner als der Abstand zwischen dem Angriffspunkt der zu messenden Kraft am Hebel und der Drehachse gewählt ist.

Diese Ausgestaltung kann einen Hebel aufweisen, bei dem sich die Drehachse zwischen dem Leiter und dem Angriffspunkt der zu messenden Kraft am Hebel befindet, und/oder einen Hebel, bei dem sich der Angriffspunkt der zu messenden Kraft am Hebel zwischen dem Leiter und der Drehachse befindet, und/oder einen Hebel, bei dem sich der Leiter zwischen der Drehachse und dem Angriffspunkt der zu messenden Kraft am Hebel befindet.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Ausgestaltung ist der Leiter an einem relativ zur Drehachse im wesentlichen festen Punkt fixiert, der in der Ausbreitungsrichtung der Strahlung in einem das Gitter enthaltenden Abstand vom Befestigungspunkt des Hebels am Leiter angeordnet ist.

Diese Ausführungsform weist vorzugs- und vorteilhafterweise einen Trägerkörper auf, an dem der Hebel um die Drehachse drehbar angelenkt und der Leiter an dem festen Punkt fixiert ist. Der Trägerkörper kann vorteilhafterweise einstückig ausgebildet sein und insbesondere aus einem einzigen Material bestehen. Dadurch kann die Ausführungsform vorteilhafterweise baulich einfach sein und kostengünstig hergestellt werden, und eine komplexe und teure Trägerstruktur aus mehreren Teilen ist vermieden.

Vorteilhaft ist es, wenn die Drehachse durch eine elastische Feder definiert ist, die den Trägerkörper und den Hebel miteinander verbindet. Die Feder ist vorzugs- und vorteilhafterweise eine Blattfeder, die in Bezug auf den Leiter so angeordnet ist, daß sie in Richtung parallel zur Ausbreitungsrichtung elastisch, in Richtung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung dagegen steif ist. Dadurch hat die Vorrichtung vorteilhafterweise einen Bewegungsfreiheitsgrad nur in Richtung parallel zur Ausbreitungsrichtung, nicht aber in Richtung senkrecht dazu.

Die Blattfeder kann durch einen Verbindungssteg zwischen dem Trägerkörper und dem Hebel realisiert werden, der aus dem gleichen Material wie der Trägerkörper und der Hebel, beispielsweise aus Quarzglas bestehen kann. In diesem Fall können der Trägerkörper, der Hebel und die Drehachse vorteilhafterweise einstückig ausgebildet sein.

Zweckmäßig ist es, wenn der Leiter parallel zur Ausbreitungsrichtung vorgespannt ist. Dies ermöglicht in einem durch die Vorspannung bestimmten Bereich sowohl eine Dehnung als auch Kontraktion des Bragg-Gitters.

Als optischer Leiter kann prinzipiell jeder Körper aus transparentem elastischen Material verwendet werden, der optische Strahlung in einer Ausbreitungsrichtung leitet. Vor-

zugsweise weist der Leiter eine optische Faser auf, in der das Bragg-Gitter ausgebildet ist. Die Faser kann beispielsweise aus Quarzglas bestehen.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist eine Krafterzeugungseinrichtung zur Erzeugung der von der Kraftübertragungseinrichtung umzusetzenden zu messenden mechanischen Kraft auf, die insbesondere so ausgebildet sein kann, daß die zu messenden Kraft an Ort und Stelle und beispielsweise wahlweise oder gesteuert erzeugt wird.

Bei einer bevorzugten und vorteilhaften Ausgestaltung dieser Weiterbildung weist die Krafterzeugungseinrichtung eine Wandlereinrichtung zur Umwandlung einer von der zu messenden mechanischen Kraft verschiedenen physikalischen Größe in diese Kraft auf, wobei die physikalischen Größe vorzugsweise von einer mechanischen Kraft verschieden ist und je nach Wandlereinrichtung beispielsweise die Temperatur, eine elektrische und/oder magnetische Feldstärke, eine Beschleunigung, Vibration usw. sein kann.

Ist die physikalische Größe beispielsweise eine elektrische Feldstärke oder Spannung, kann die Wandlereinrichtung einen Körper aus piezoelektrischem Material aufweisen, der sich in Abhängigkeit von der Feldstärke oder Spannung streckt und/oder zusammenzieht, wobei dieses Verhalten zur Erzeugung der zu messenden Kraft ausgenutzt wird.

Wenn die physikalische Größe beispielsweise eine Beschleunigung und/oder Verzögerung, insbesondere eine Vibration ist, kann die Wandlereinrichtung eine bewegliche Masse aufweisen, auf welche die Beschleunigung und/oder Verzögerung wirkt, wobei die von der Masse erzeugte Trägheitskraft die zu messende Kraft bildet. Der Schwerpunkt der Masse definiert den Angriffspunkt der zu messenden mechanischen Kraft.

Dieser Schwerpunkt kann auf einer den Befestigungspunkt des Hebels mit dem Leiter und die Drehachse verbindenden Achse oder in einem Abstand von dieser Achse angeordnet sein. Im letztgenannten Fall kann eine Beschleunigungsempfindlichkeit der Vorrichtung nicht nur in Richtung parallel zur Ausbreitung, sondern auch in Richtung senkrecht dazu erreicht werden.

Die Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung hat nicht nur den Vorteil der Messung einer mechanischen Kraft, die von einer insbesondere von einer mechanischen Kraft verschiedenen physikalischen Größe abhängt, sondern überdies den Vorteil, daß sie als Sensorvorrichtung zur Messung der physikalischen Größe selbst angewendet werden kann, beispielsweise als Temperatur-, elektrischer Spannungs-, Beschleunigungs- oder Vibrationssensor.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung wird generell so betrieben, daß im Leiter eine optischen Strahlung zu dem im Leiter ausgebildeten Bragg-Gitter geleitet und eine vom Bragg-Gitter aufgrund der zugeleiteten optischen Strahlung erzeugte Bragg-Wellenlänge als Maß für die zu messende Kraft gemessen wird.

Zur Kompensation von temperaturbedingten Effekten kann ein dehnungs- und kontraktionskräftefreier optischer Referenzleiter vorhanden sein, in welchem ein Referenz-Bragg-Gitter ausgebildet ist, durch welches Temperatureinflüsse, die eine Verschiebung der Bragg-Wellenlänge hervorrufen, erfaßt und durch eine geeignete Auswertung eliminiert werden können. Der Referenzleiter und der zur Kraftmessung verwendete Leiter sind vorzugsweise gleichartig. Das gleiche gilt für das Referenz-Bragg-Gitter und das zur Kraftmessung verwendete Bragg-Gitter.

Die Erfindung wird in der nachfolgenden Beschreibung anhand der Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen

Vorrichtung, bei Auslenkungen verstärkt werden,

Fig. 2 eine Realisierung des Beispiels nach Fig. 1,

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei dem Kräfte verstärkt werden,

Fig. 4 eine Realisierung des Beispiels nach Fig. 3 mit Hilfe einer Masse,

Fig. 5 in vereinfachter Darstellung eine Modifikation der Realisierung nach Fig. 4 und

Fig. 6 in vereinfachter Darstellung eine weitere Modifikation der Realisierung nach Fig. 4.

Die Figuren sind schematische Darstellungen und nicht maßstäblich.

Bei den in den Figuren dargestellten Beispielen besteht der mit 1 bezeichnete optischen Leiter beispielsweise aus einer optischen Faser, z. B. einem Glasfaser-Lichtwellenleiter. Die Faser 1 leitet eingekoppelte optische Strahlung P in einer Ausbreitungsrichtung, die mit einer zur Zeichenebene parallelen Längsrichtung 10 der Faser 1 übereinstimmt.

In der Faser 1 ist ein optisches Bragg-Gitter 11 mit einer gitterspezifischen Bragg-Wellenlänge  $\lambda_1$  ausgebildet, die in Abhängigkeit von einer Dehnung und/oder Kontraktion der Faser 1 parallel zu deren Längsrichtung 10 variiert.

Eine generell mit 2 bezeichnete Kraftübertragungseinrichtung setzt die zu messende Kraft in eine auf die Faser 1 parallel zu deren Längsrichtung 10 wirkende Kraft um, welche die Faser 1 parallel zur Längsrichtung 10 dehnt und/oder kontrahiert.

Die Kraftübertragungseinrichtung 2 weist generell ein Getriebe 2' mit einer relativ zum Leiter 1 im wesentlichen festen Drehachse 21 auf.

Dieses Getriebe 2' weist beispielsweise einen Hebel 20 auf, der einerseits um die Drehachse 21 drehbar ist, der andererseits an der Faser 1 befestigt ist, und auf den die zu messende Kraft einwirkt.

In den Figuren ist die Drehachse 21 in Richtung senkrecht zur Zeichenebene der jeweiligen Figur ausgerichtet, so daß sich der Hebel 20 in Richtung parallel zu dieser Zeichenebene dreht.

Der Hebel 20 ist bei einem Befestigungspunkt 22 an der Faser 1 befestigt. Die Faser 1 selbst ist an einem relativ zur Drehachse 21 des Hebels 20 festen Punkt 32 fixiert, der sich in einem parallel zur Längsrichtung 10 gemessenen Abstand a vom Befestigungspunkt 22 des Hebels 20 an der Faser 1 befindet. Im Abstand a ist das Gitter 11 enthalten.

Drückt auf den Hebel 20 in einem nicht mit der Drehachse 21 zusammenfallenden Angriffspunkt 23 eine zu messende Kraft K, die eine Drehung des Hebels 20 um die Drehachse 21 im Gegenuhrzeigersinn C bewirkt, wird am Befestigungspunkt 22 eine vom festen Punkt 32 zum Befestigungspunkt 22 gerichtete Kraft K1 erzeugt, welche die Faser 1 und das Gitter 11 parallel zur Längsrichtung 10 elastisch dehnt.

Bei einem Nachlassen der Kraft K verringert sich die Dehnung von Faser 1 und Gitter 11, bis schließlich bei ausreichend kleiner Kraft K wieder der ursprüngliche dehnungslose Zustand von Faser 1 und Gitter 11 erreicht wird.

Damit auch eine Kraft K' gemessen werden kann, die eine Drehung des Hebels 20 um die Drehachse 21 im Uhrzeigersinn c bewirkt, wird die Faser 1 in der Längsrichtung 10 mit einer vom festen Punkt 32 in Richtung zum Befestigungspunkt 22 gerichteten bestimmten Vorspannkraft B vorgespannt, die der von dieser Kraft K' am Befestigungspunkt 22 erzeugten Kraft K1' entgegenwirkt. Solche Kräfte K' können gemessen werden, solange  $K1' \leq B$  gilt.

Der Angriffspunkt 23 der zu messenden Kraft ist bei den Fig. 1 bis 5 als auf einer den Befestigungspunkt 22 des Hebels 20 an der Faser 1 und der Drehachse 21 miteinander verbindenden Hebelachse 200 angeordnet angenommen,

welche parallel zur Zeichenebene der jeweiligen Figur verläuft und die Drehachse 21 senkrecht schneidet.

Beim Beispiel nach Fig. 1 ist der Abstand d1 zwischen der Drehachse 21 und dem Befestigungspunkt 22 des Hebels 20 an der Faser 1 größer als der Abstand d2 zwischen der festen Drehachse 21 und dem Angriffspunkt 23 der zu messenden Kraft K bzw. K' am Hebel 20.

Dieses Beispiel ist für die Fälle geeignet, bei denen die von der Faser 1 auf das Gitter 11 übertragenen Dehnungen und/oder Kontraktionen zu gering sind, um die dadurch bewirkten Verschiebungen der gitterspezifischen Bragg-Wellenlänge  $\lambda_1$  zu messen.

Durch den Hebel 20 werden am Befestigungspunkt 22 Dehnungen und/oder Kontraktionen erreicht, die um den Faktor  $k = d1/d2 > 1$  größer sind als die Dehnungen und/oder Kontraktionen ohne den Hebel 20.

Die Fig. 2 zeigt eine spezielle Realisierung des Beispiels nach Fig. 1. Bei dieser Realisierung ist ein Trägerkörper 3 vorhanden, an dem der Hebel 20 um die feste Drehachse 21 drehbar angelenkt und die Faser 1 an dem festen Punkt 32 fixiert ist.

Die Faser 1 ist an einem weiteren festen Punkt 34 am Trägerkörper 3 so befestigt, daß der Befestigungspunkt 22 des Hebels 20 und das Gitter 11 zwischen dem einen festen Punkt 32 und dem weiteren festen Punkt 34 angeordnet ist.

Die Faser 1 ist zwischen den beiden festen Punkten 32 und 34 mit der Vorspannung B vorgespannt.

Der Trägerkörper 3 ist einstückig ausgebildet und besteht beispielsweise aus Quarzglas oder einem anderen Glas. Er weist vorzugs- und vorteilhafterweise einen Hohlraum 30 auf.

Der Hohlraum 30 ist beispielsweise eine in einem Oberflächenabschnitt des Trägerkörpers 3 ausgebildete Aussparung.

In der Fig. 2 ist dieser Oberflächenabschnitt in Draufsicht dargestellt und mit 31 bezeichnet. Der Hohlraum 30 bildet eine von einem inneren Rand 301 des Oberflächenabschnitts 31 begrenzte Öffnung 310 im Oberflächenabschnitt 31 und erstreckt sich vom Oberflächenabschnitt 31 vertikal zur Zeichenebene der Fig. 2 in die Tiefe.

Die Öffnung 310 des Hohlraums 30 wird von der Faser 1 überspannt, die zu beiden Seiten der Öffnung 310 bei den festen Punkten 32 und 34 auf dem beispielsweise ebenen Oberflächenabschnitt 31 fixiert ist.

Im Hohlraum 30 ist der Hebel 20 untergebracht. Der Hebel 20 erstreckt sich im wesentlichen parallel zur Zeichenebene der Fig. 2, untergreift die Faser 1 und ist am Befestigungspunkt 22 an der Faser 1 fixiert.

Eine Hebelachse 200 des Hebels 20 verläuft in den Figuren im wesentlichen parallel zur Zeichenebene der jeweiligen Figur und vorzugsweise im wesentlichen senkrecht zur Längsachse 10 der Faser 1, kann aber auch schräg zur Längsachse 10 angeordnet sein.

Die Drehachse 21 des Hebels 20 kann die Drehachse eines Drehgelenks 320 sein, das den Hebel 20 an den Trägerkörper 3 anlenkt, so daß der Hebel 20 relativ zum Trägerkörper 3 um die feste Drehachse 21 drehbar ist.

Beispielsweise ist der Hebel 20 am Trägerkörper 3 durch ein Drehgelenk 320 angelenkt, das zwischen dem Trägerkörper 3 und dem Hebel 20 angeordnet ist und beide miteinander verbindet.

Ein derartiges Drehgelenk 320 kann beispielsweise durch eine verformbare Verbindung zwischen dem Hebel 20 und dem Trägerkörper 3 realisiert sein.

Beim Beispiel nach den Fig. 2, 3, 5 und 6 ist eine solche verformbare Verbindung 320 zwischen dem Rand 301 der Öffnung 310 und einem diesem Rand 301 zugekehrten Ende 201' des Hebels 20 angeordnet. Die Verbindung 320 weist

beispielsweise durch eine vorzugsweise elastisch biegsame Verbindungslasche 321 auf, die in Richtung vertikal zur Zeichenebene der Fig. 2 steif, in Richtung parallel zur Zeichenebene und senkrecht zur Hebelachse 200 vorzugsweise elastisch biegsam ist und eine Blattsfeder bildet.

Eine solche Verbindung 320 definiert eine Drehachse 21, die relativ zum Trägerkörper 3 und damit zur Faser 1 nicht ganz fest ist, sondern sich innerhalb gewisser zulässiger Grenzen verlagert. Letzteres bedeutet, daß die Drehachse 21 im wesentlichen fest ist.

In der Fig. 2 liegt der Angriffspunkt 23 der zu messenden Kraft K bzw. K' zwischen der Drehachse 21 und dem Befestigungspunkt 22, im Unterschied zur Fig. 1, bei der die Drehachse 21 zwischen dem Angriffspunkt 23 und dem Befestigungspunkt 22 angeordnet ist.

Die zu messende Kraft K bzw. K' wird bei der Realisierung nach Fig. 2 beispielsweise von einem Piezoaktor 4 oder anderen Körper aus piezoelektrischem Material erzeugt, der fest mit dem Trägerkörper 3 und Hebel 20 verbunden ist und sich abhängig von einer angelegten elektrischen Spannung U entlang einer Aktorachse 400 dehnt und/oder zusammenzieht die parallel zur Zeichenebene der Fig. 2 ist und die Hebelachse 200 im Angriffspunkt 23 senkrecht oder schräg schneidet. Dadurch übt der sich dehrende und/oder zusammenziehende Piezoaktor 4 auf den Hebel 20 eine zu messende Kraft K bzw. K' aus, die auf den Angriffspunkt 23 gerichtet ist und als dort angreifend angesehen werden kann.

Der fest mit dem Trägerkörper 3 und Hebel 20 verbundene Piezoaktor 4 bildet eine Krafterzeugungseinrichtung zur Erzeugung der von der Kraftübertragungseinrichtung 2 umzusetzenden zu messenden mechanische Kraft K bzw. K'. Der Piezoaktor 4 selbst bildet eine Wandlereinrichtung zur Umwandlung einer von der zu messenden mechanischen Kraft K, bzw. K' verschiedenen physikalischen Größe, hier die elektrische Spannung U, in diese Kraft K, bzw. K'.

Die von einem Piezoaktor 4 oder anderen Körper aus piezoelektrischem Material erzeugten Kräfte sind extrem groß, während die Dehnungen und/oder Zusammenziehungen solcher Körper sehr gering sind. Das Beispiel nach den Fig. 1 und 2 ist für solche Verhältnisse hervorragend zur Vergrößerung der Dehnungen und/oder Zusammenziehungen geeignet und führt dabei zu einer beträchtlichen Vergrößerung der Auflösung der Bragg-Wellenlängen  $\lambda_1$  und damit der Meßempfindlichkeit. Letzteres gilt auch für die Verwendung dieses Beispiels als elektrischer Spannungssensor.

Wird zur Erzeugung der zu messenden Kraft anstelle eines Piezoaktors ein Körper aus einem Material verwendet, das sich in Abhängigkeit von beispielsweise der Temperatur oder einer magnetischen Feldstärke dehnt und/oder zusammenzieht, kann mit dem Beispiel nach den Fig. 1 und 2 ein Temperatur- bzw. Magnetsensor jeweils großer Meßempfindlichkeit realisiert werden.

Bei dem in der Fig. 3 dargestellten Beispiel ist im Unterschied zum Beispiel nach den Fig. 1 und 2 der Abstand d1 zwischen der Drehachse 21 und dem Befestigungspunkt 22 des Hebels 20 am Leiter 1 kleiner als der Abstand d2 zwischen der Drehachse 21 und dem Angriffspunkt 23 der zu messenden Kraft K bzw. K' am Hebel 20.

Dieses Beispiel ist für die Fälle geeignet, bei denen die von der Faser 1 auf das Gitter 11 übertragenen Dehnungen und/oder Kontraktionen deshalb zu gering sind, um die dadurch bewirkten Verschiebungen der gitterspezifischen Bragg-Wellenlänge  $\lambda_1$  zu messen, weil die diese Dehnungen und/oder Kontraktionen bewirkenden Kräfte K1 bzw. K1' zu gering sind.

Bei diesem Beispiel werden durch den Hebel 20 am Befestigungspunkt 22 Kräfte K1' bzw. K1 erreicht, die um den

Faktor  $1/k = d2/d1 > 1$  größer sind als die zu messenden Kräfte K bzw. K' am Angriffspunkt 23 des Hebels.

Die Fig. 4 zeigt eine spezielle Realisierung des Beispiels nach Fig. 3. Diese Realisierung unterscheidet sich abgesehen von den anderen Hebelverhältnissen vom Realisierungsbeispiel nach Fig. 2 nur in der anderen Art der Erzeugung der zu messenden Kraft K bzw. K'. Ansonsten ist die Realisierung nach Fig. 4 in der gleichen Weise wie das Realisierungsbeispiel nach Fig. 2 aufgebaut, und einander entsprechende Teile sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

Bei der Realisierung nach Fig. 4 ist beispielsweise und im Unterschied zu den Beispielen nach den Fig. 1 und 2 sowie dem Beispiel nach Fig. 3 der Befestigungspunkt 22 des Hebels 20 zwischen der Drehachse 21 des Hebels 20 und dem Angriffspunkt 23 der zu messenden Kraft K bzw. K' angeordnet.

Die zu messende Kraft K bzw. K' ist in diesem Fall beispielsweise die Trägheitskraft, die eine träge Masse M des Hebels 20 bei einer beschleunigten Bewegung des Hebels 20 auf diesen Hebel 20 ausübt. Der Angriffspunkt 23 der Kraft K bzw. K' fällt in diesem Fall mit dem Schwerpunkt der Masse M zusammen.

In diesem Fall bilden der am Trägerkörper 3 um die Drehachse 21 drehbar angelenkte Hebel 20 mit der Masse M eine Krafterzeugungseinrichtung zur Erzeugung der von der Kraftübertragungseinrichtung 2 umzusetzenden zu messenden mechanische Kraft K, bzw. K'. Der Hebel 20 mit der Drehachse 21 und der Masse M selbst bildet eine Wandlereinrichtung zur Umwandlung einer von der zu messenden mechanischen Kraft K, bzw. K' verschiedenen physikalischen Größe, hier eine Beschleunigung, in diese Kraft K, bzw. K'.

Bei kleinen Beschleunigungen erzeugt die Masse M, auch wenn sie groß ist, nur sehr kleine Trägheitskräfte, die das Bragg-Gitter 11 nicht oder nur wenig in der Längsrichtung 10 dehnen können. Durch die Realisierung nach Fig. 4 kann eine derart kleine Trägheitskraft K bzw. K' in eine große Kraft K1 bzw. K1' umgesetzt werden, die ausreicht, das Gitter 11 zu dehnen, wobei zudem ausreichende Auslenkungen erhalten werden können.

Mit dem Beispiel nach den Fig. 3 und 4 kann ein Beschleunigungs- und/oder Vibrationssensor jeweils großer Meßempfindlichkeit realisiert werden.

Das in der Fig. 5 dargestellte Beispiel unterscheidet sich vom Beispiel nach der Fig. 4 im wesentlichen nur dadurch, daß der Befestigungspunkt 22 des Hebels 20 am Leiter 1 und der Angriffspunkt 23 der zu messenden Kraft am Hebel 20 zusammenfallen oder auf einer zur Zeichenebene dieser Fig. 5 senkrechten Achse in einem Abstand voneinander angeordnet sind. In diesem Fall sind der Abstand des Befestigungspunktes 22 des Hebels 20 am Leiter 1 von der Drehachse 21 und der Abstand des Angriffspunktes 22 der zu messenden Kraft von der Drehachse 21 zueinander gleich, und das Umsetzungsverhältnis dieser Kraftübertragungseinrichtung 2 ist gleich eins.

Das in der Fig. 6 dargestellte Beispiel unterscheidet sich von den Beispielen nach den Fig. 4 und 5 im wesentlichen nur dadurch, daß der Angriffspunkt 23 der zu messenden Kraft in einem parallel zur Zeichenebene der dieser Fig. 6 und parallel zur Ausbreitungsrichtung 10 und damit senkrecht zur Hebelachse 200 gemessenen Abstand d3 voneinander angeordnet sind. In diesem Fall ist eine Beschleunigungsempfindlichkeit der Vorrichtung in Richtung parallel zur Zeichenebene der dieser Fig. 6 und parallel zur Ausbreitungsrichtung 10 gegeben. Der Angriffspunkt 23 kann durch den Schwerpunkt einer Masse definiert sein, die beispielsweise auf einem von der Hebelachse 200 seitlich abstehenden Schenkelabschnitt 250 des Hebels 20 befestigt oder



durch die Masse dieses Abschnitts 250 selbst gegeben sein kann.

Jede der in den Figuren dargestellten Vorrichtungen wird generell so betrieben, daß die optische Strahlung P in die Faser 1 eingekoppelt und in der Faser 1 zum Bragg-Gitter 11 geleitet und die von dem Gitter 11 reflektierte Bragg-Wellenlänge  $\lambda_1$  gemessen wird. Die gemessenen Wellenlänge  $\lambda_1$  bzw. deren Verschiebung ist ein Maß für die zu messende Kraft oder physikalische Größe.

In der Fig. 2 ist eine Referenzfaser 5 mit einem Referenz-Bragg-Gitter 51 zur Kompensation von temperaturbedingten Effekten dargestellt. Die Referenzfaser 5 ist parallel zur Faser 1 angeordnet, überbrückt den Hohlraum 30 und Hebel 20 spannungsfrei und ist bei Punkten 52 und 54 auf dem Oberflächenabschnitt 31 so am Trägerkörper 3 befestigt, daß eine temperaturbedingte Dehnung des Trägerkörpers 3 keine messbare mechanische Spannung in der Referenzfaser 5 erzeugt. Die Referenzfaser 5 und die Faser 1 sind von der gleichen Faser genommen. Ebenso ist das Referenz-Bragg-Gitter 51 und das Bragg-Gitter 11 gleich ausgebildet.

Bei allen dargestellten Beispielen können der Trägerkörper 3 und die Kraftübertragungseinrichtung 2 mit dem die Drehachse 21 aufweisenden Getriebe 2' vorteilhafterweise aus einem und demselben Material, beispielsweise aus Quarzglas oder einem Metall oder in Siliziumtechnologie auf der Basis von Mikrostrukturierungsverfahren realisiert werden.

#### Patentansprüche

1. Bragg-Gitter-Vorrichtung zum Messen einer mechanischen Kraft (K, K'), mit:

- wenigstens einem optischen Leiter (1) aus elastischem Material zum Leiten einer optischen Strahlung (P) in einer Ausbreitungsrichtung (10);
- wenigstens einem im Leiter (1) ausgebildeten optischen Bragg-Gitter (11) mit einer Bragg-Wellenlänge ( $\lambda_1$ ), die in Abhängigkeit von einer Dehnung und/oder Kontraktion des Leiters (1) in der Ausbreitungsrichtung (10) variiert, und
- einer Kraftübertragungseinrichtung (2), welche die zu messende Kraft (K, K') in eine den Leiter (1) in der Ausbreitungsrichtung (10) dehnende und/oder kontrahierende Kraft (K1, K1') umsetzt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kraftübertragungseinrichtung (2) ein Getriebe (2') mit einer relativ zum Leiter (1) im wesentlichen festen Drehachse (21) aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebe (2') ein von eins verschiedenes Umsetzungsverhältnis zwischen der zu messenden Kraft (K, K') und der umgesetzten Kraft (K1, K1') aufweist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebe (2') wenigstens einen Hebel (20) aufweist,

- der um die drehbar ist,
- der am Leiter (1) befestigt ist, und
- auf den die zu messende Kraft (K, K') in einem Abstand (d2) von der Drehachse (21) einwirkt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch einen Hebel (20), bei dem der Abstand (d1) zwischen (21) und einem Befestigungspunkt (22) des Hebels (20) am Leiter (1) und der Drehachse größer als der Abstand (d2) zwischen einem Angriffspunkt (23) der zu messenden Kraft (K, K') am Hebel (20) und der Drehachse (21) ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet

net durch einen Hebel (20), bei dem der Abstand (d1) zwischen dem Befestigungspunkt (22) des Hebels (20) am Leiter (1) und der Drehachse (21) kleiner als der Abstand (d2) zwischen dem Angriffspunkt (23) der zu messenden Kraft (K, K') am Hebel (20) und der Drehachse (d2) ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter (1) an einem relativ zur Drehachse (21) im wesentlichen festen Punkt (23) fixiert ist, der in der Ausbreitungsrichtung (10) in einem das Gitter (11) enthaltenden Abstand (a) vom Befestigungspunkt des Hebels (20) am Leiter (1) angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch einen Trägerkörper (3), an dem der Hebel (20) um die Drehachse (21) drehbar angelenkt und der Leiter (1) an dem festen Punkt (23) fixiert ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehachse (21) durch eine Blattfeder (320) definiert ist, die den Trägerkörper (3) und den Hebel (21) miteinander verbindet.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Trägerkörper (3), der Hebel (20) und die Drehachse (21) einstückig ausgebildet sind.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter (1) eine Vorspannung (B) parallel zur Ausbreitungsrichtung (10) aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter (1) eine optische Faser aufweist.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Krafterzeugungseinrichtung (3, 20, 4; 3, 20, 21, M) zur Erzeugung der von der Kraftübertragungseinrichtung (2) umzusetzen- den zu messenden mechanische Kraft (K, K').

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Krafterzeugungseinrichtung (3, 20, 4; 3, 20, 21, M) eine Wandlereinrichtung (4; 20, 21, M) zur Umwandlung einer von der zu messenden mechanischen Kraft (K, K') verschiedenen physikalischen Größe (U) in diese Kraft (K, K') aufweist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlereinrichtung (4) einen Körper aus piezoelektrischem Material aufweist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlereinrichtung (20, 21, M) eine bewegliche Masse (M) aufweist.

15. Anwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14 zur Messung einer physikalischen Größe (U).

16. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, gekennzeichnet durch die Schritte:

- Leiten einer optischen Strahlung (P) im Leiter (1) zu dem im Leiter (1) ausgebildeten Bragg-Gitter (11), und
- Messen einer vom Bragg-Gitter (11) aufgrund der zugeleiteten optischen Strahlung (P) erzeugten Bragg-Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) als Maß für die zu messende Kraft (K, K').

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig 1

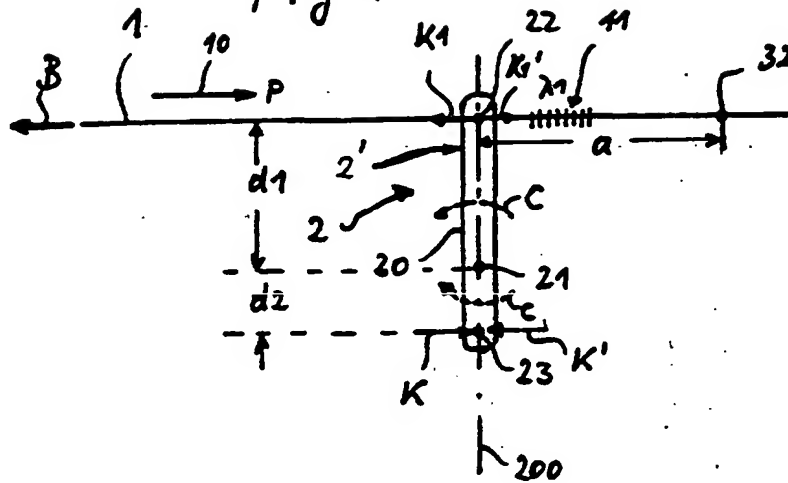


Fig 2

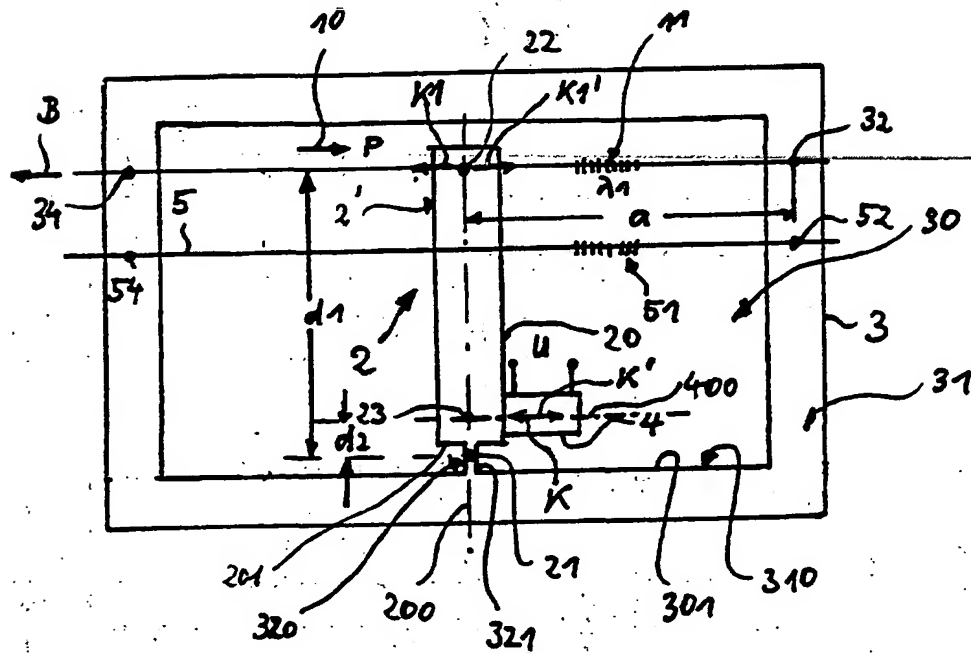




Fig 3

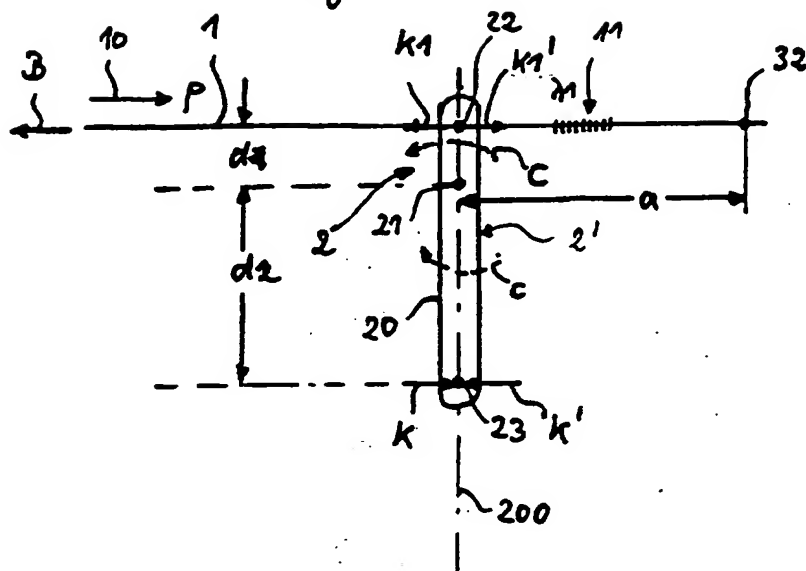


Fig 4

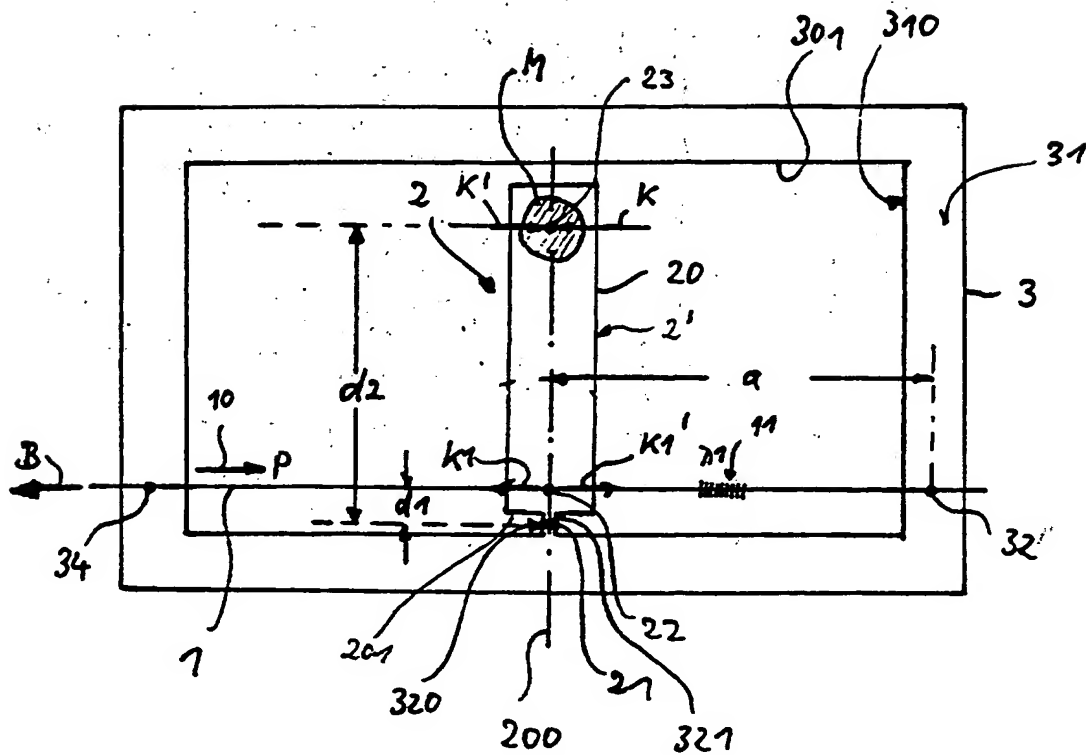


Fig 5

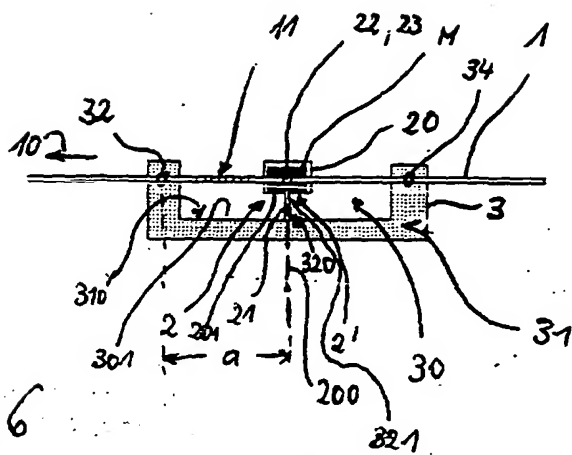


Fig 6

